Aus dem Röntgeninstitut der Universität Bern
Direktor: Prof. Dr. Ad. Liechti
Leitung der Arbeit: Dr. W. Minder

STRAHLENBIOLOGISCHE VERSUCHE

mit der

VICIA FABA EQUINA

unter spezieller Berücksichtigung der

TEMPERATURABHÄNGIGKEIT

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Würde eines Doctor medicinæ

der Universität Bern

vorgelegt von

JOSEF HAUSER
aus Näfels (Kt. Glarus)

Bern 1943
Buch- und Akzidenzdruckerei Pension Vonderflüh, Sarnen

Aus dem Röntgeninstitut der Universität Bern
Direktor: Prof. Dr. Ad. Liechti
Leitung der Arbeit: Dr. W. Minder

STRAHLENBIOLOGISCHE VERSUCHE

mit der

VICIA FABA EQUINA

unter spezieller Berücksichtigung der

TEMPERATURABHÄNGIGKEIT

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Würde eines Doctor medicinæ

der Universität Bern

vorgelegt von

JOSEF HAUSER
aus Näfels (Kt. Glarus)

Bern 1943
Buch- und Akzidenzdruckerei Pension Vonderflüh, Sarnen

Auf Antrag des Herrn Prof. Dr. Ad. Liechti von der Medizinischen Fakultät zum Druck als

DISSERTATION

genehmigt.

BERN, den 10. Februar 1943.

Der Dekan der Medizinischen Fakultät:

Prof. Dr. A. von Muralt.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Strahlenbiologische Versuche mit der VICIA FABA EQUINA unter spezieller Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit.

I. Einleitung.

Am Röntgeninstitut der Universität Bern wurden bereits verschiedene strahlenbiologische Versuche mit der Sojabohne (VICIA FABA EQUINA) durchgeführt. Dieses Objekt eignet sich für solche Versuche besonders gut und es entspricht in hohem Maße den Anforderungen, wie sie von H. Holthusen (6) an ein Testobjekt gestellt worden sind.

So zeigten die Versuche von A. Salzmann (9) die allgemeine Wirkung der Röntgenstrahlen auf dieses Objekt. Durch seine Versuche fanden die Arbeiten von H. Iven (7) eine Bestätigung. Den Zeitfaktor bestimmte K Doelken (4), und J. Arnold (1) führte Versuche mit Beta- und Gammastrahlen durch. Mit der Summation von U.-V.- (Ultraviolett) und Röntgenstrahlen befaßte sich V. Rösli (8). Ferner unternahmen H. Backes (2) und P. Herren (5) Versuche mit U.-V.-Strahlen verschiedener Wellenlängen.

Im Anschluß und in Anlehnung an obige Versuche ist es nun von Interesse, die Alteration des Wachstums dieses Testobjektes zu beobachten, wenn wir die Wirkung von Röntgenstrahlen in Abhängigkeit von der Temperatur untersuchen (Bestimmung des Temperaturkoeffizienten), was mit vorliegender Arbeit versucht werden soll.

Alle diese Versuche interessieren uns aus folgenden Gründen:

1. Welche Reaktionen Röntgen- und U.-V.-Bestrahlung an unserm Objekte hervorrufen. Dabei ist im Einzelnen zu erforschen:

a) Ist die Wirkung in allen Fällen eine schädigende, in Abhängigkeit von der Dosis, Art der Bestrahlung, Zeit und Temperatur?

b) Gibt es Strahlenmengen, die eine andere Wirkung zeigen als eine Schädigung? Diese Frage muß nicht im Einzelnen, aber doch dem Sinne nach beantwortet werden.

Besonders durch die Versuche von A. Salzmann (9), K. Doelken (4) und V. Rösli (8) wurde gezeigt, daß kleine Dosen Röntgenstrahlen das Wachstum der Wurzelspitzen der Sojabohne beschleunigen, während große Dosen das Wachstum hemmen (verglichen mit der unbestrahlten Kontrolle). Ferner zeigte sich, daß kleine Dosen in den ersten Tagen eine Reizung zeigten, gegen Ende der Versuchstage aber eine Schädigung; umgekehrt hohe Dosen anfangs eine Schädigung und später einen Rückgang derselben. Daraus kann man schließen, daß neben dieser Strahlenwirkung noch ein anderer Faktor zu berücksichtigen ist, und daß dieser Faktor als ein biologischer in der Bohne selbst gelegen ist, der die durch die Strahlung gesetzte Wachstumsänderung rückgängig zu machen sucht. Bei den anfänglich gereizten Keimlingen machte er die Reizung zum Teil rückgängig. Doch gelang es ihm nicht, die Reizung in ein normales Wachstum überzuführen, sondern es resultierte dabei eine Wachstumsverminderung. Es erhebt sich die Frage, ob man über diesen spezifischen Faktor etwas aussagen kann. Um dies zu ermöglichen, variieren wir zunächst die Temperatur.

2. N. W. Timoféeff-Ressovsky und K. G. Zimmer (10) haben die Temperaturabhängigkeit der durch Röntgenstrahlen ausgelösten Mutation bei DROSOPHILA MELANOGASTER untersucht. Aus ihren Versuchen geht hervor, daß unter tiefer (3° C, 7° C) und hoher (33° C, 32° C) Temperatur gleiche Raten ausgelöster geschlechtsgebundener Mutationen sich ergeben und somit keinen Einfluß der Temperatur auf die mutationsauslösende Wirkung der Röntgenstrahlen festgestellt werden konnte.

3. Von F. Dessauer und B. Rajewsky (3) wurden Versuche unternommen mit dem Ziel, den Wirkungsmechanismus der

Strahlung einigermaßen abzuklären. Zu diesen Versuchen dienten ganz einfache Objekte, wie z. B. Eiweißlösungen. Diese Lösungen wurden bei verschiedenen Temperaturen bestrahlt. Es wurde gefunden, daß Röntgenstrahlen eine mit steigender Temperatur stetig zunehmende Wirkung hervorrufen. Ferner fanden sie, daß bei U.-V.-Bestrahlung kein Temperaturkoeffizient resultierte. Unsere Aufgabe ist es nun zu kontrollieren, ob für unser Objekt, die VICIA FABA EQUINA, dieser Temperaturfaktor, wie er für das Eiweiß gefunden wurde, auch stetig verläuft.

II. Material und Methodik.

Als Versuchsobjekt diente uns, wie bei früheren Arbeiten von A. Salzmann, K. Doelken u. a., die Sojabohne (Vicia faba equina). Für jeden Versuch wurden 240 gesunde Samen von annähernd gleicher Größe ausgewählt und 24 Stunden in Leitungswasser zum Aufquellen gelegt. Darnach wurden sämtliche Bohnen flach auf sterilem, feuchtem Sägemehl in Saatschalen zum Auskeimen gebracht. Zu diesem Zwecke wurden sie, mit 4 Lagen Filtrierpapier zugedeckt, in einen dunklen Raum von annähernd Zimmertemperatur gestellt. Nach 4 Tagen konnte man die für diesen Versuch notwendige Anzahl mit annähernd gleichlangen Wurzeln auswählen. Die durchschnittliche Länge der Wurzeln betrug dabei 20—25 mm. Nur Röntgenstrahlen wurden angewandt; und zwar wurden je 12 Keimlinge mit 5, 10, 20, 50 und 100 r (Röntgeneinheit) bestrahlt. Zwölf unbestrahlte Keimlinge dienten bei jedem Versuch als Kontrolle. Zur Bestrahlung wurden die 12 Keimlinge auf sterilem Sägemehl derart in einem Kreise angeordnet, daß deren Wurzeln radspeichenähnlich dem Mittelpunkt des Kreises zustrebten, damit möglichst die Zentralstrahlen zur Wirkung gelangten. Um die Sekundärstrahlen auszuschalten, diente als Träger Cellophan, das in ein Stickrähmchen gespannt war.

Zur Bestrahlung wurde eine Therapieröhre verwendet mit weicher Strahlung (70 KV, 4 m A, ohne Filter). Zur genauen Kontrolle über die angewendete Intensität von 10 r/min. diente das Hammerdosimeter, das während der Bestrahlung mitlief. Der Abstand Focus—Wurzelspitzen betrug ca. 40 cm.

Nach der Bestrahlung wurden die Keimlinge in Gläser verpflanzt, die mit sterilem, feuchtem Sägemehl gefüllt wurden. Zwischen Sägemehl und Glaswand befand sich Filtrierpapier. An ungefähr 6 symmetrischen Stellen wurde zwischen Glaswand und Filtrierpapier ein Glasstab eingesteckt, damit die Wurzel den nötigen Wachstumsraum besaß, da die Keimlinge so eingepflanzt wurden, daß die Wurzeln zwischen Filtrierpapier und Glaswand zu liegen kamen. Die Keimlinge wurden mit sterilem, feuchtem Sägemehl zugedeckt in einer Schichtdicke von ca. 2 cm.

Auf diese Weise konnte man das Wachstum der Keimlinge genau kontrollieren und messen. Während 7 Tagen wurde jede Wurzel täglich zur gleichen Zeit einmal gemessen.

Um nun den Einfluß der Temperatur auf die so bestrahlten Keimlinge feststellen zu können, wurden die Versuche unter sonst genau gleichen Bedingungen bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt. Zu diesem Zwecke schienen uns Temperaturen in ungefähr gleichen Abständen am geeignetsten. Bei 4 verschiedenen Temperaturen, nämlich bei 4°, 11°, 18° und 25° C führten wir Versuche durch.

Um einigermaßen brauchbare Mittelwerte zu erhalten, wurde jeder der 4 Versuche 6mal durchgeführt und zwar immer unter genau gleichen Bedingungen. Jeder einzelne Versuch bestand also aus 72 Bohnenkeimlingen.

Der Mittelwert für jeden einzelnen Tag wurde errechnet, indem zuerst aus dem Tageswachstum der 12 Bohnenkeimlinge der Mittelwert, dann von den so erhaltenen 6 Werten wiederum der Mittelwert gebildet wurde. Um die Ergebnisse zu veranschaulichen, wurden sie kurvenmäßig graphisch dargestellt.

Das Verhältnis der Schädigung bezw. Reizung (zur unbestrahlten Kontrolle), was alle diese Kurven darstellen, wurde errechnet, indem man die Tagesmittelwerte der einzelnen Dosen durch die Tagesmittelwerte der Kontrollen dividierte, d. h. die jeweilige Kontrolle = 100 % bezw. 1,00 setzte. Kontrolle: 1 = Mittelwert: x; x = prozentuale Reizung bezw. Schädigung inbezug auf die Kontrolle. Die in den folgenden Ausführungen angeführten Prozentzahlen stellen keineswegs die absoluten Werte der Reizung bezw. Schädigung in % ausgedrückt dar, sondern lediglich die Wachstumsänderung im Verhältnis

und inbezug auf die Kontrolle = 100 %. An Stelle des Ausdruckes „Schädigung" setzen wir meistens den viel bezeichnenderen Begriff „Wachstumsverminderung".

Bei sämtlichen Versuchen wurde auch die Bildung von Seitenwurzeln beobachtet, indem sie an jeder Wurzel so genau wie möglich gezählt wurden. Auch hier gelangen nur die Mittelwerte zur Darstellung.

III. Die Versuche.

A. Versuch bei 4° C.

Bei diesem Versuche wurden die Gläser mit den bestrahlten Bohnenkeimlingen während 48 Stunden in einen Eisschrank von konstant 4° C gestellt. Das Wachstum der Keimlinge wurde nach je 24 Stunden kontrolliert und gemessen. Darnach stellten wir die Gläser während 5 Tagen bei gewöhnlicher Zimmertemperatur von 18° C auf, wobei die Keimlinge jeden Tag zur gleichen Zeit gemessen wurden, d. h. immer nach 24 Stunden. Der Raum, in dem sie sich befanden, war taghell, aber nicht direktem Sonnenlicht ausgesetzt.

Wie aus den Kurven in Fig. 1 zu ersehen ist, trat für die Dosen 5, 10, 20 und 50 r durchwegs für alle 7 Tage eine sehr deutliche Reizung des Wachstums ein. Sie erstreckte sich zwischen 102 % und 124 %. Von Interesse war dabei die Beobachtung, daß diese Reizung keineswegs von diesen verschiedenen Dosen, ihrer Intensität entsprechend, abhängig gewesen ist, sondern bei den einzelnen Dosen in sehr verschiedenem Grade zum Ausdruck gekommen ist. Diese Reizung war in den ersten zwei Tagen etwas geringer (Eisschrank), am 2. Tage am schwächsten, um vom 3. Tage an zuzunehmen. Besonders ausgeprägt war sie am 3. und am 7. Tage.

Einzig für die Dosis 100 r beobachteten wir eine geringe Wachstumsverminderung auf 98 % am 2. und 7. Tage, eine etwas stärkere am 6. Tage, wo sie auf 93 % anstieg. Der 3. Tag zeigte eine beträchtliche Reizung auf 116 %, um aber am 4. und 5. Tage wieder auf 103 % zu sinken.

100 r zeigte den andern Dosen gegenüber in der Hinsicht eine Besonderheit, daß zweimal eine Schädigung eintrat, wobei sich die Keimlinge nach der ersten Schädigung sehr gut erholten, das zweitemal aber dauernd geschädigt blieben.

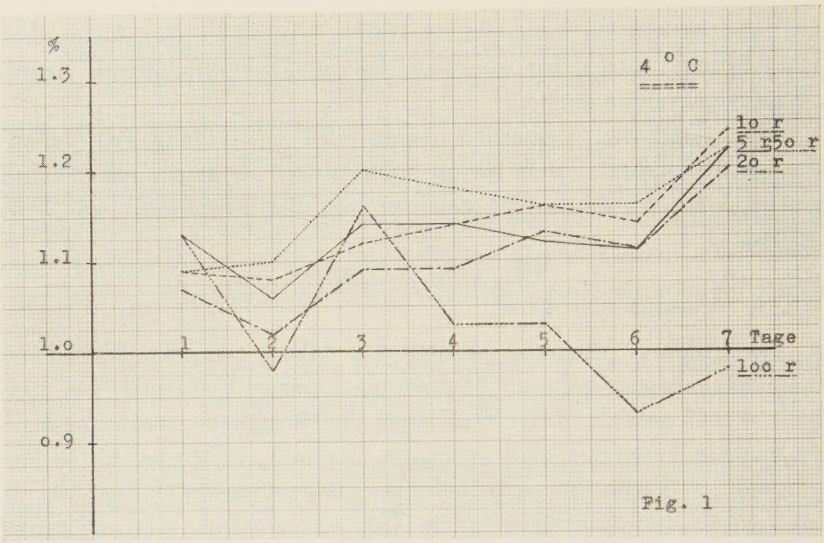


Fig. 1

B. Versuch bei 11 ° C.

Hiefür wurden die Gläser mit den bestrahlten Bohnenkeimlingen während 48 Stunden in laufendes Leitungswasser gestellt, das annähernd die gewünschte Temperatur von 11 ° C besitzt. Nach je 24 Stunden wurden sie wiederum gemessen. Daraufhin stellten wir sie 5 Tage bei gewöhnlicher Zimmertemperatur von 18 ° C auf, wobei sie ebenfalls täglich gemessen wurden.

Wie aus Fig. 2 hervorgeht, beobachteten wir für die Dosen 5, 10 und 20 r eine starke Reizung, die sich zwischen 104 % und 120 % hielt. Auch hier war die Reizung ganz unabhängig von der Intensität der Dosierung, wie wir dies auch im Versuch von 4 ° C beobachtet haben. Die Reizung war an den zwei ersten Tagen etwas geringer, besonders am 2., um dann am 3. Tage etwas stärker zu werden.

50 r zeigte am 1. Tage eine starke Reizung auf 113 %, am 2. Tage aber nur noch 103 %, und am 3. Tage sogar 101 %. Vom 4. Tage an trat eine Schädigung ein, indem am 6. Tage eine Wachstumsverminderung auf 89 % eintrat, um am 7. Tage sich so gut zu erholen, daß eine geringe Reizung auf 101 % resultierte.

Bei 100 r beobachteten wir an den zwei ersten Tagen ebenfalls eine Reizung, die am 2. Tage sogar 107 % betrug. Vom 3. Tage an trat eine Schädigung ein, die täglich so stark zunahm, daß die Wachstumsverminderung am 7. Tage auf 61 % anstieg. Am 6. und 7. Tage war der schädigende Einfluß verhältnismäßig geringer als am 3., 4. und 5. Tage, was wahrscheinlich mit der Annahme in Zusammenhang gebracht werden kann, daß sich die Bohnenkeimlinge zu erholen trachten, d. h. von eventuell durch die Bestrahlung gebildeten Stoffwechselprodukten sich zu befreien suchten, die schädigend auf das Wachstum des Keimlings sein könnten. Daß diese Tendenz bei unsern Versuchen deutlich zu verfolgen war, geht aus den Abbildungen hervor.

50 r und 100 r zeigten also gegenüber den kleinern Dosen starke Differenzen, und namentlich bei 100 r war eine stark ausgeprägte Schädigung im Sinne einer Wachstumsverminderung nicht zu leugnen.

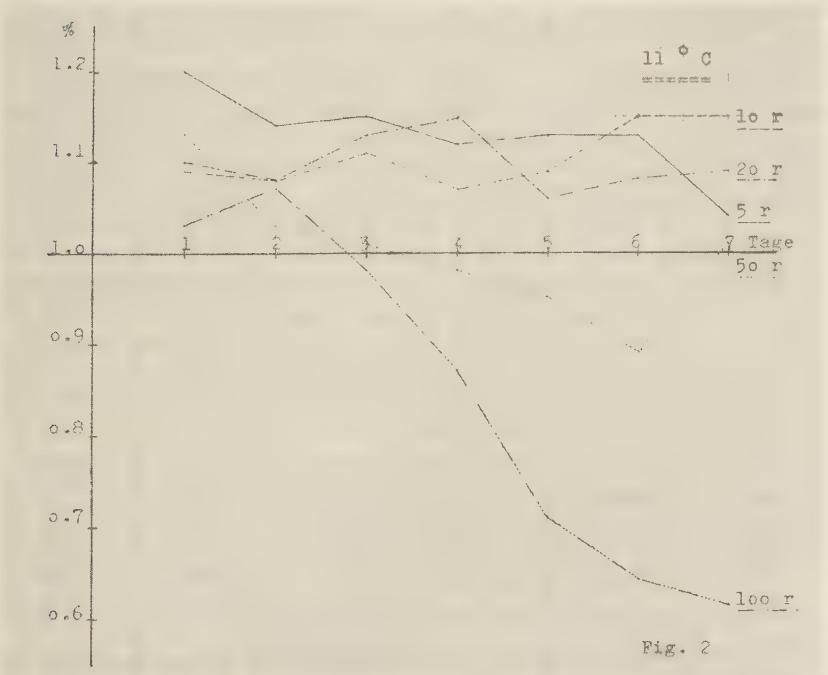


Fig. 2

C. Versuch bei 18° C.

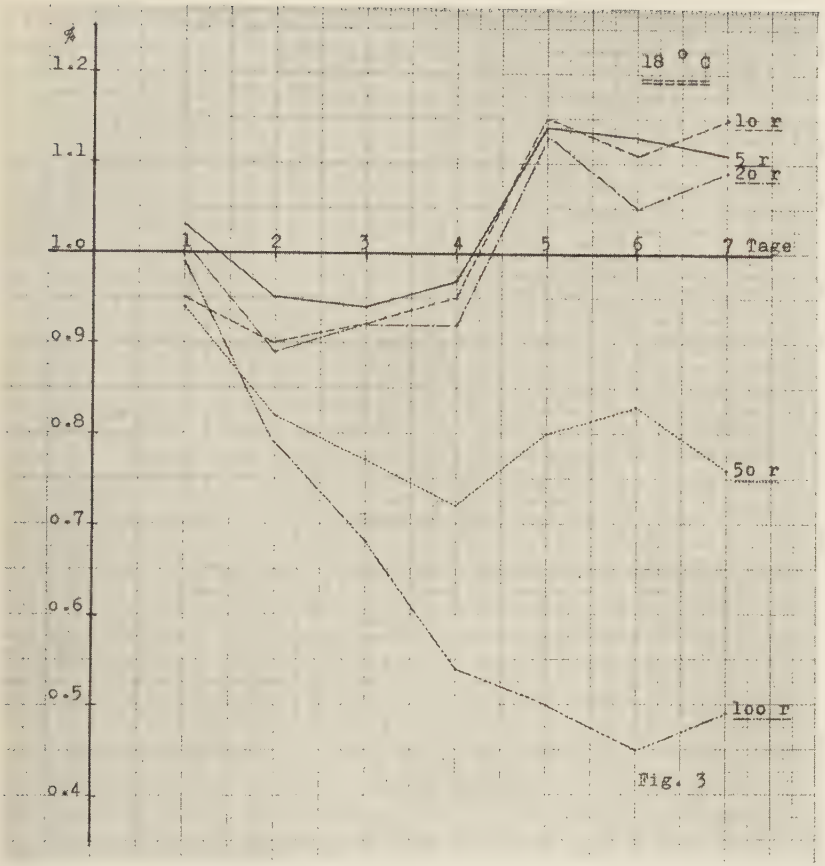
Da die gewöhnliche Zimmertemperatur annähernd 18° C beträgt, mußten wir für diesen Versuch keine besondern Vorkehrungen treffen, sondern wir konnten die bestrahlten Keimlinge in den Gläsern während 7 Tagen beobachten und messen.

Wie Fig. 3 darstellt, war es interessant zu beobachten, daß während den vier ersten Tagen für sämtliche Dosen eine Schädigung eintrat. Auch hier lag die Stärke der Wachstumsverminderung für die Dosen 5 r, 10 r und 20 r eng beieinander, zwischen 89 % und 94 %. Der 5. Tag zeigte für diese 3 Dosen eine starke Reizung bis auf 115 %, um bis zum 7. Tage annähernd auf dieser Höhe zu bleiben. Nur 5 r und 20 r zeigten am 1. Tage eine ganz geringe Reizung auf 103 % bezw. 101 %.

Anders verhielten sich die Dosen 50 r und 100 r. Bei 50 r zeigte sich bereits am 1. Tage eine Wachstumsverminderung auf 94 %, am 2. Tage nahm sie bis auf 82 % zu. Weniger intensiv an Stärke zunehmend war sie am 3. und 4. Tage (die Kurve wird etwas flacher), erreichte jedoch am 4. Tage das Maximum, nämlich auf 72 %. Am 5. und 6. Tage schienen sich die Keimlinge etwas zu erholen, sodaß am 6. Tage die Wachstumsverminderung auf 83 % zurückging, um jedoch am 7. Tage wieder auf 76 % anzusteigen. 100 r zeigte eine ganz intensive Schädigung besonders in den 4 ersten Tagen. Am 4. Tage stieg die Wachstumsverminderung auf 54 %. Im Gegensatz zu 50 r war hier die Schädigung am 5. und 6. Tage nicht geringer, sondern sie nahm noch zu, doch weniger intensiv, und erreichte am 6. Tage eine Wachstumsverminderung auf 45 %. Am 7. Tage erholten sie sich mäßig auf 49 %.

50 r und 100 r zeigten also durchwegs eine Schädigung, die besonders bei 100 r sehr stark war. Die Schädigung bei 50 r lag in der Mitte zwischen den kleineren Dosen und 100 r.

Bei 18° C dauerte es volle 4 Tage bis die Keimlinge sich soweit erholt hatten, um, teils mit einer Reizung zu reagieren, so bei den kleinen Dosen, teils die Schädigungszunahme etwas zu verringern, wie bei den großen Dosen.



D. Versuch bei 25 ° C.

Um die bestrahlten Bohnenkeimlinge während 48 Stunden in 25 ° C wachsen zu lassen, wurden sie in einen Brutschrank gestellt, der auf diese Temperatur erwärmt wurde. Nachher wurden sie wiederum während 5 Tagen in der Zimmertemperatur belassen und nach je 24 Stunden gemessen.

Aus Fig. 4 geht eindeutig hervor, daß bei dieser Temperatur für sämtliche Dosen während den 5 ersten Tagen eine Wachstums-

verminderung eintrat, die jedoch bei den einzelnen Dosen derart verschieden war, daß wir sie von vorneherein gesondert betrachten müssen.

5 r zeigte die geringste Wachstumsverminderung. Sie stieg am 1. Tage bereits auf 89 %, war am 2. und 3. Tage etwas geringer, stieg am 4. Tage jedoch wieder auf 91 % an. Am 5. Tage trat eine starke Reizung auf 106 % ein, die bis zum 7. Tage auf 122 % anstieg.

10 r wurde merkwürdigerweise stärker geschädigt als 20 r. Doch dürfte dies nicht zu schwer in die Wagschale geworfen werden, da diese Dosen doch verhältnismäßig eng beieinander liegen. 10 r erlitt am 1. Tage eine Wachstumsverminderung auf 88 %, eine gleich starke wie 20 r. Sie stieg am 2. Tage jedoch so stark an, wie wir es wohl kaum erwartet hätten, nämlich auf 52 %. Vom 3. Tage an (81 %) erholten sie sich aber derart rasch, daß die Wachstumsverminderung am 5. Tage auf 94 % und am 7. Tage bis auf 96 % zurückging.

20 r begann ebenfalls mit einer Wachstumsverminderung auf 88 %, die am 2. Tage auf 96 % zurückging. Der 3. Tag zeigte hier die stärkste Schädigung, indem eine Wachstumsverminderung auf 71 % eintrat. Am 4. Tage resultierte eine solche auf nur noch 85 %, und der 5. Tag antwortete mit einer Reizung auf 103 %. Der 6. Tag war aequivalent der Kontrolle, also 100 %, der 7. Tag zeigte wiederum eine Reizung auf 114 %.

Was 50 r betrifft, so beobachteten wir am 1. Tage eine starke Wachstumsverminderung auf 82 %, eine stärkere aber namentlich am 2. Tage, wo sie auf 64 % anstieg. Die folgenden Tage erfuhren eine allmähliche Abnahme der schädigenden Wirkung, wobei die Wachstumsverminderung am 7. Tage auf 82 % zurückging.

100 r erlitt an den zwei ersten Tagen fast die gleiche Wachstumsverminderung wie 50 r. Am 3. Tage hingegen stieg sie bis auf 42 % an. Wiederum machte sich in den folgenden Tagen die Tendenz sich zu erholen bemerkbar, da die Schädigung an Intensität etwas einbüßte. Der 5. Tag wies die stärkste Schädigung auf, die wir je beobachteten, nämlich eine Wachstumsverminderung bis auf 37 %. Eine in Erscheinung tretende Erholung trat erst am 6. und 7. Tage ein, die jedoch gering war, da die Wachstumsverminderung nur bis auf 42 % zurückging.

Wohl bei keinem der vier Versuche war die Tendenz sich zu erholen so deutlich zu erkennen, wie bei diesem hier. Am geringsten war sie bei 11° C, angedeutet bei 4° C und ziemlich ausgeprägt wiederum bei 18° C.

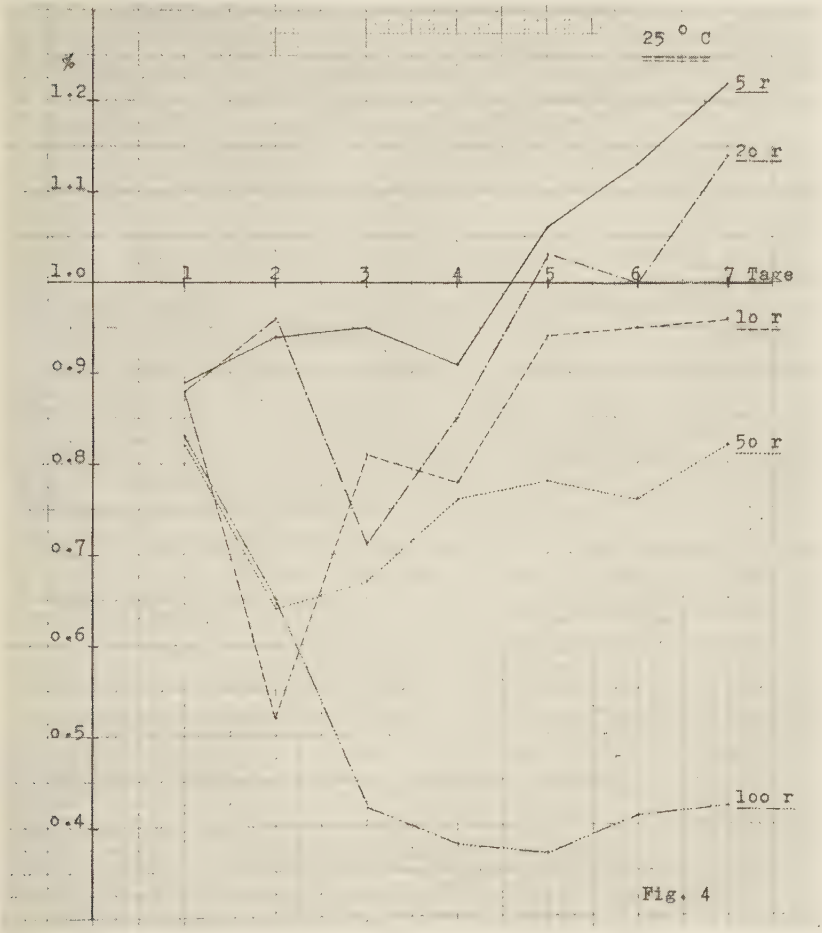


Fig. 4

E. Die Seitenwurzeln.

Eine besondere Beachtung wurde auch dem Wachstum der Seitenwurzeln geschenkt. Bei allen vier Versuchen wurden die Seitenwurzeln bei jeder einzelnen Wurzel sämtlicher Keimlinge so genau wie möglich gezählt. Das Ergebnis ist in Fig. 5 graphisch dargestellt.

Bei allen Versuchen konnten wir die Beobachtung machen, daß die Zahl und Größe der Seitenwurzeln mit steigender Dosierung abnahmen. Ferner bildeten sich an denjenigen Hauptwurzeln, deren Spitzen aus irgendeinem Grunde abgestorben waren, an deren Basis relativ mehr Seitenwurzeln als an den gesunden Hauptwurzeln. Zudem waren sie noch länger. Bei den Dosen 50 r und 100 r gab es Wurzeln ohne Seitenwurzeln und solche mit nur kleinen Spitzchen.

Die Länge der Seitenwurzeln betrug durchschnittlich 10—15 mm, doch wurden auch solche bis zu 25 mm und mehr festgestellt.

Wie aus Fig. 5 hervorgeht, bildeten sich bei 4° C keine Seitenwurzeln, nicht einmal Andeutungen in Form kleiner Spitzchen (absolute Schädigung). Bei 11° C beobachteten wir bei 50 r und 100 r ebenfalls keine Seitenwurzeln, höchstens vereinzelte kleine Spitzchen. Für 5 r betrug die Bildung von Seitenwurzeln nur 54 % inbezug auf 100 % der Kontrolle, für 10 r nur noch 20 % und für 20 r sogar bloß 14 %. Nur 18° C zeigte für 5 r und 10 r eine stärkere Bildung als die Kontrolle, 108 % bezw. 106 %, also eine Reizung. 20 r zeigte bereits eine Verminderung auf 98 %, 50 r eine solche auf 58 % und 100 r sogar auf 20 %. 25° C zeigte absolut genommen die größte Zahl der Seitenwurzeln, inbezug auf die Kontrolle aber durchwegs eine Verminderung, so bei 5 r auf 96 %. Bei 10 r stieg sie bereits auf 86 % und bei 20 r auf 78 % an. Bei 50 r beobachteten wir bereits eine Verminderung auf 53 % und bei 100 r sogar eine solche auf 20 %.

Die Bildung war am stärksten an der Basis, gegen die Spitze hin nahmen sie rasch ab, die Spitze selbst war frei. Das Wachstum war horizontal zu den senkrecht in die Tiefe wachsenden Hauptwurzeln, zwar direkt aus ihnen heraus, ohne sich zu verzweigen. Am längsten waren sie auch an der Basis, von wo sie gegen die Spitze hin allmählich an Länge abnahmen.

Diese Beobachtungen zeigten, daß weniger die Dosen selbst, als vielmehr die Temperatur bestimmend auf die Bildung von Seitenwurzeln angesehen werden dürfte. Ferner, daß das Temperaturoptimum bei ungefähr 18° C zu liegen scheint, wie aus Fig. 5 hervorgehen dürfte.

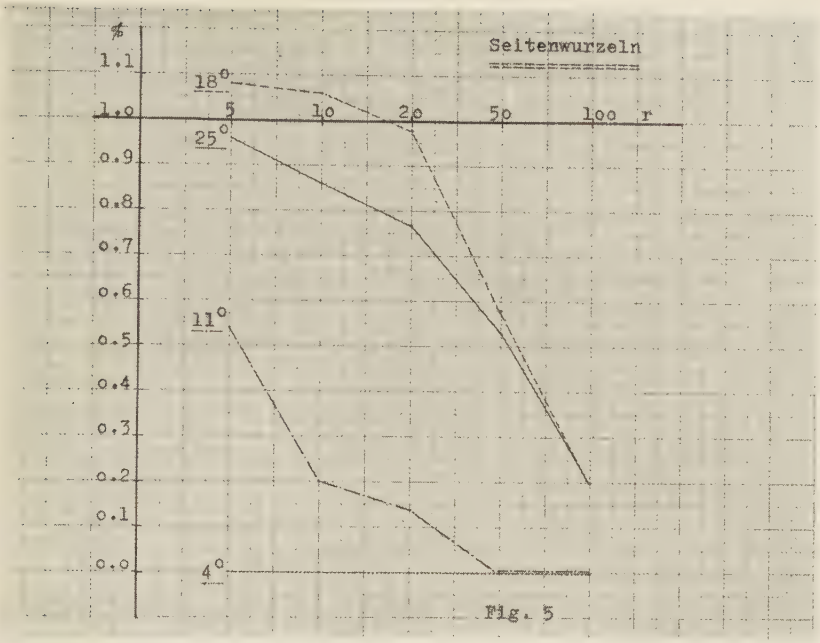


Fig. 5

IV. Bestimmung des Temperatur-Koeffizienten.

Um die Wirkung der Temperatur auf die einzelnen Dosen genauer zu ermitteln, bestimmten wir für jeden Tag und für jede Dosis den Temperaturkoeffizienten. Die einzelnen Werte sind aus den Abbildungen leicht ersichtlich. Als Ordinate wählten wir wiederum die prozentuale Wachstumsänderung verglichen mit der unbestrahlten Kontrolle (= 100 % bezw. 1,0). Als Abscisse die Temperaturen von 0^0 bis 25^0 C. Den Koeffizienten selbst bestimmten wir mit der Formel $\tau = \frac{\triangle W}{\triangle t}$, wobei $\triangle W$ die Differenz der Wachstumsänderung zwischen den Temperaturen t_1 und t_2 für eine bestimmte Dosis darstellt $(W_1 - W_2)$, $\triangle t$ die Differenz zwischen diesen beiden Temperaturen selbst $(t_1 - t_2)$. Es sind nun keineswegs für jeden Tag, jede Dosis und für jede Temperatur einzeln die Koeffizienten mathematisch errechnet worden, da sich diese nach Belieben leicht mit obiger

Formel errechnen lassen. Uns schien wichtiger, ob der Koeffizient als solcher positiv oder negativ ist (Anstieg und Abfall der Kurven), und nur beiläufig sind beispielsweise einige Koeffizienten angeführt.

1. Tag.

Wie aus Fig. 6 hervorgeht, zeigten am 1. Tage bei 4^0 C alle Dosen eine Reizung. Sie erstreckte sich zwischen 107 % und 113 %, wobei sie für 5 r am stärksten und für 20 r am schwächsten war. Bei 11^0 C zeigten alle Dosen ebenfalls eine Reizung: 5 r eine sehr beträchtliche, 120 %, 100 r die geringste, 103 %. Bei 18^0 C zeigten 5 r und 20 r nurmehr eine geringe Reizung auf 103 % bezw. 101 %. Für die übrigen Dosen bestand eine Wachstumsverminderung, die für 50 r am stärksten war, auf 94 %. Bei 25^0 C wurden sämtliche Dosen geschädigt. Die Wachstumsverminderung lag zwischen 82 % und 89 % und war wiederum für 5 r am schwächsten und für 50 r am stärksten.

Koeffizient: Mit Ausnahme von 100 r ist τ für alle Dosen zwischen 4^0 und 11^0 C positiv. Die Dosis 5 r zeigt das Maximum, $\tau = + 0{,}01$. Von 11^0 auf 25^0 C ist der Abfall für alle Dosen ungefähr gleich stark, $\tau = \sim - 0{,}02$.

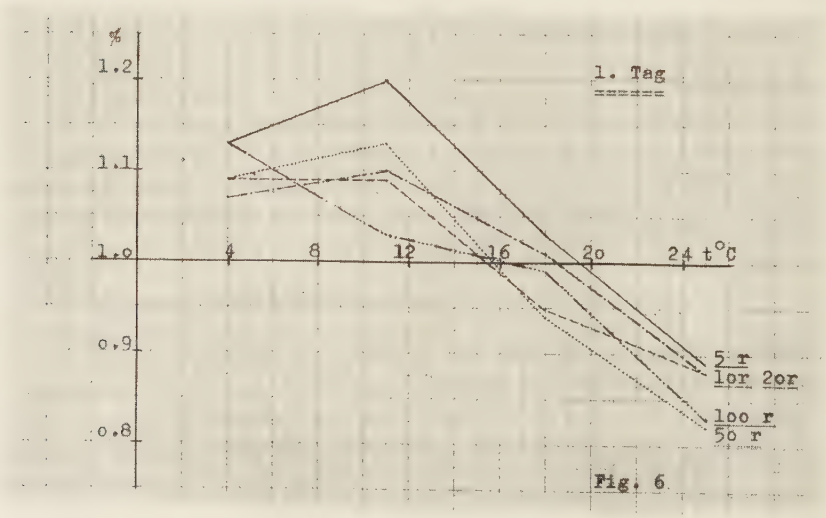


Fig. 6

2. Tag.

Aus Fig. 7 ist ersichtlich, daß am 2. Tage bei 4^0 C alle Dosen, außer 100 r, eine Reizung zeigten, die für 50 r am stärksten war, 110 %. Bei 100 r trat hingegen eine Wachstumsverminderung auf 98 % ein. Bei 11^0 C beobachteten wir für alle Dosen eine Reizung, die für 5 r 114 % betrug und für 50 r am schwächsten war, 103 %. Bei 18^0 C trat für alle Dosen eine Wachstumsverminderung ein: Für 5 r nur eine geringe, auf 95 %, für 100 r stieg sie auf 79 % an. Für alle Dosen trat bei 25^0 C eine Wachstumsverminderung ein, die sich sehr ungleich auf die verschiedenen Dosen verteilte. So trat sie bei 20 r nur geringgradig ein, auf 96 %, für 10 r war sie am stärksten, wobei sie auf 52 % anstieg. Bei 50 r und 100 r trat eine Wachstumsverminderung auf 64 % bezw. auf 65 % ein.

Koeffizient: Am zweiten Tage ist τ zwischen 4^0 und 11^0 C, außer für 50 r, für alle Dosen positiv. 5 r zeigt wiederum das Maximum, $\tau = + 0{,}01$. Von 11^0 auf 18^0 C ist der Abfall für sämtliche Dosen fast linear, $\tau = \sim - 0{,}03$. Zwischen 18^0 und 25^0 C variiert τ bei den einzelnen Dosen ziemlich stark, doch ist τ für alle Dosen, außer für 20 r ($\tau = + 0{,}01$), negativ, wobei für 10 r am stärksten, $\tau = - 0{,}04$. (Abbildung Fig. 7 Seite 18.)

3. Tag.

Fig. 8 zeigt ein etwas einheitlicheres Bild. Bei 4^0 C trat wiederum für sämtliche Dosen eine Reizung ein, bemerkenswert für 50 r die stärkste, 120 %. Darauf folgte bereits 100 r mit 116 % Reizung; erst dann die kleinen Dosen. Bei 11^0 C wurden, außer 100 r, alle Dosen gereizt; diesmal 5 r am stärksten, 115 %, 50 r nur noch 101 %. 100 r zeigte bereits eine Wachstumsverminderung auf 98 %. 18^0 C rief für alle Dosen eine Wachstumsverminderung hervor, zwar ziemlich der Dosierung entsprechend. Für 5 r war sie am schwächsten, auf 94 %, für 100 r am stärksten, auf 68 %. Ebenso verhielt es sich bei 25^0 C, nur, daß die Wachstumsverminderung in verstärktem Maße eintrat. Für die Dosis 100 r stieg sie bis auf 42 % an. Einzig 5 r wurde um 1 % weniger geschädigt.

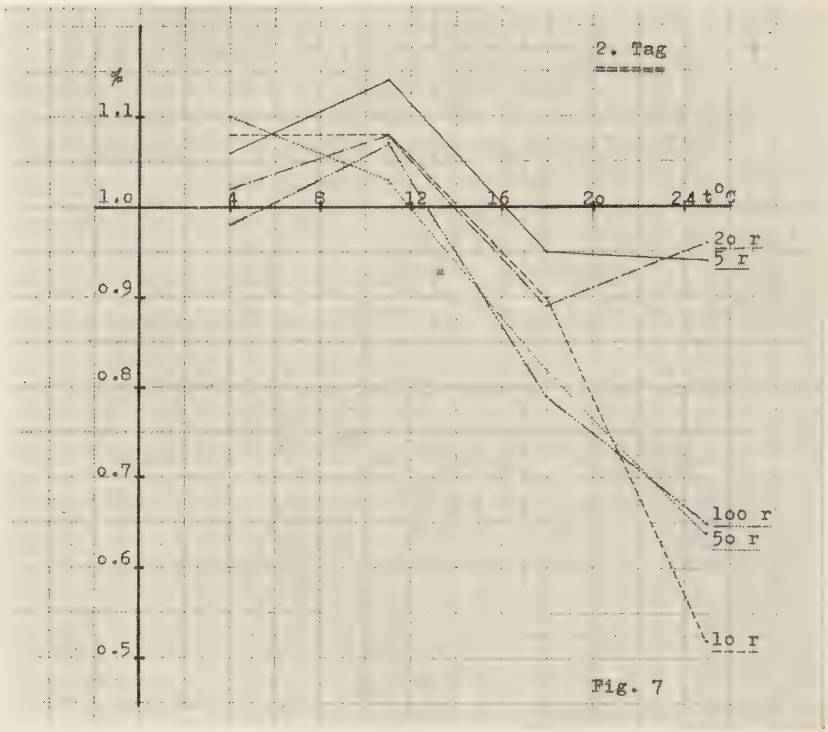


Fig. 7

Koeffizient: Für 5 r und 20 r ist τ zwischen 4^0 und 11^0 C leicht ansteigend, $\tau \sim +0{,}006$. Für 10 r und vor allem für 50 r und 100 r aber negativ. Für 50 r z. B. beträgt $\tau = -0{,}03$. Zwischen 11^0 und 25^0 C ist der Abfall für alle Dosen fast linear und ziemlich stark, so ist für 100 r $\tau = -0{,}04$. Einzig für 5 r ist τ schwach positiv. (Abbildung Fig. 8 Seite 19.)

4. Tag.

Hier beobachteten wir, wie aus Fig. 9 hervorgeht, bei 4^0 C für alle Dosen ebenfalls wie an den vorigen Tagen eine Reizung, die wiederum wie am 3. Tag für 50 r am stärksten war, 118 %. Für 100 r hingegen war sie am schwächsten, nur 103 %. Bei 11^0 C trat für die kleineren Dosen eine Reizung ein zwischen 107 % und 115 %. 50 r und 100 r erlitten dagegen eine Wachstumsverminde-

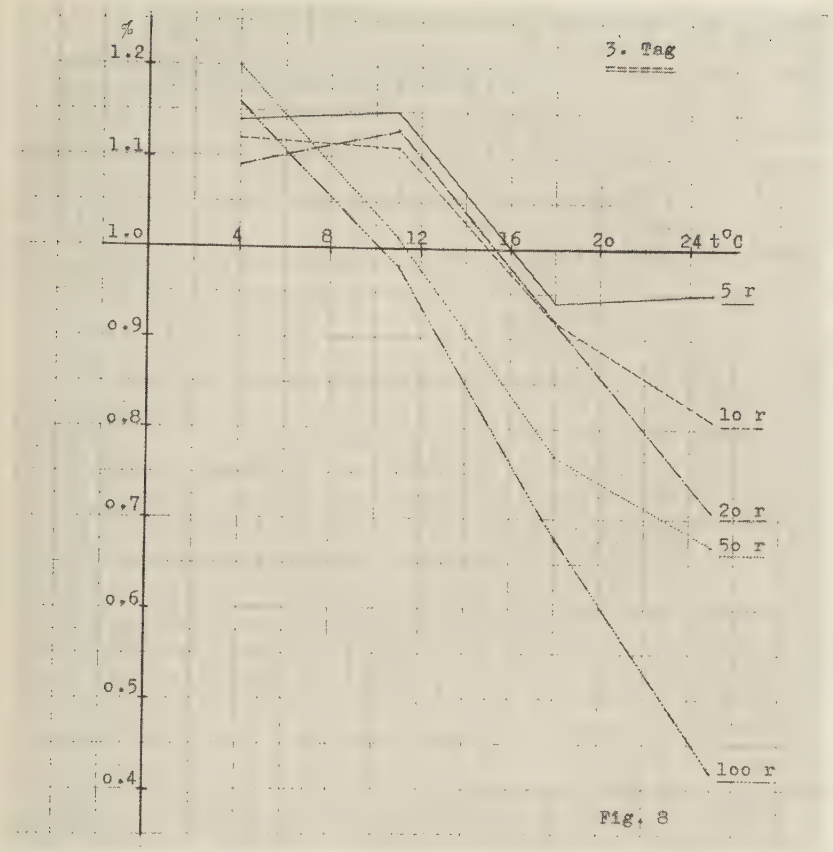


Fig. 8

rung auf 98 % bezw. auf 87 %. 18° C wirkte auf alle Dosen schädigend, ziemlich genau der Dosierung entsprechend. So trat bei 5 r eine schwache Wachstumsverminderung auf 97 %, für 100 r eine starke auf 54 % ein. Dasselbe beobachteten wir auch bei 25° C, nur trat eine stärkere Schädigung ein. So stieg die Wachstumsverminderung bei 100 r auf 38 % an. Nur bei 50 r war sie etwas geringer als bei 18° C.

Koeffizient: Zwischen 4° und 11° C ist τ, außer für 20 r ($\tau = + 0{,}01$), negativ. Der Abfall ist für 50 r am stärksten, $\tau = - 0{,}03$. Zwischen 11° und 25° C ist der Abfall für alle Dosen ungefähr linear, $\tau = \sim - 0{,}04$ (100 r). Nur 50 r zeigt zwischen 18° und 25° C einen leichten Anstieg, $\tau = + 0{,}006$. (Fig. 9 S. 20.)

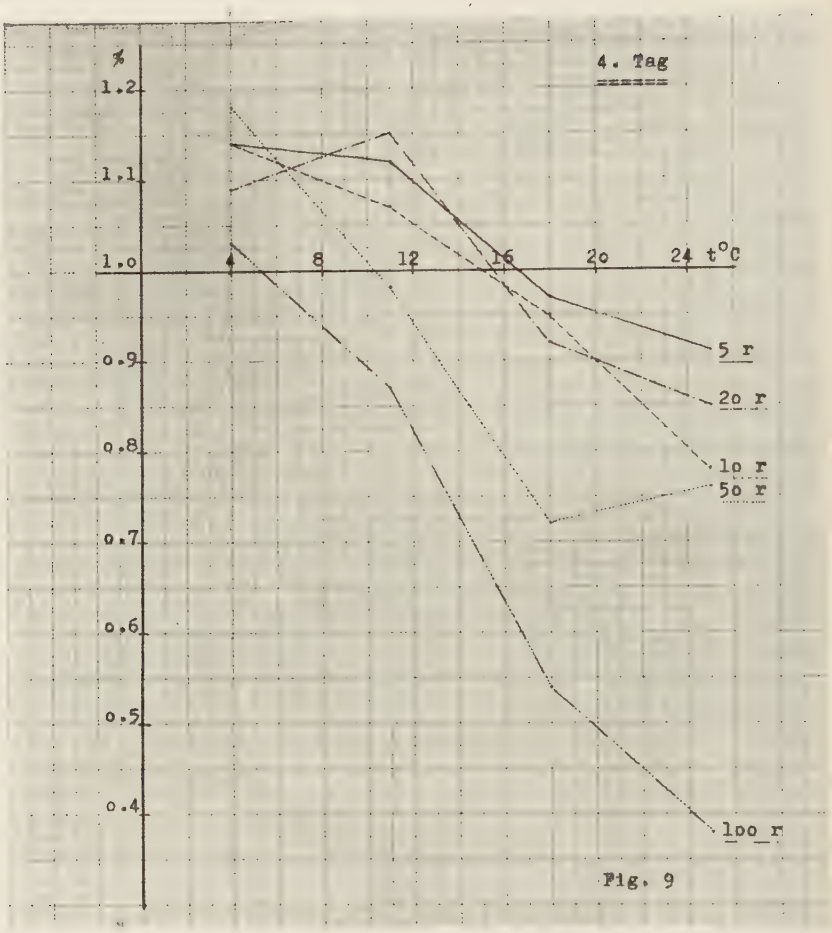


Fig. 9

5. Tag.

Aus Fig. 10 geht hervor, daß bei 4° C wiederum für alle Dosen eine Reizung vorhanden war, wenn sie auch für 100 r sehr gering war, nur 103 %. Bei 11° C zeigten die kleinen Dosen entsprechend der Intensität eine Reizung. Für die größeren Dosen resultierte eine Wachstumsverminderung, für 50 r auf 95 %, für 100 r auf 71 %. 18° C zeigte für die kleinen Dosen ebenfalls eine Reizung, während für 50 r und 100 r eine sehr starke Wachstumsverminderung

auf 80 % bezw. auf 50 % eintrat. Bei 25° C resultierte für 5 r und 20 r eine geringe Reizung. 10 r wurde leicht geschädigt. 50 r hingegen erlitt eine starke Wachstumsverminderung auf 78 %, und 100 r zeigte nur noch 37 % Wachstumsfähigkeit. Dies ist die stärkste jemals beobachtete Schädigung bei diesen Versuchen.

Koeffizient: Zwischen 4° und 11° C ist τ für alle Dosen negativ, außer für 5 r, wobei der Anstieg kaum beachtenswert ist. 100 r weist den stärksten Abfall auf, $\tau = -0{,}05$. Von 11° auf 18° C ist für die kleinen Dosen ein geringer Anstieg zu beobachten,

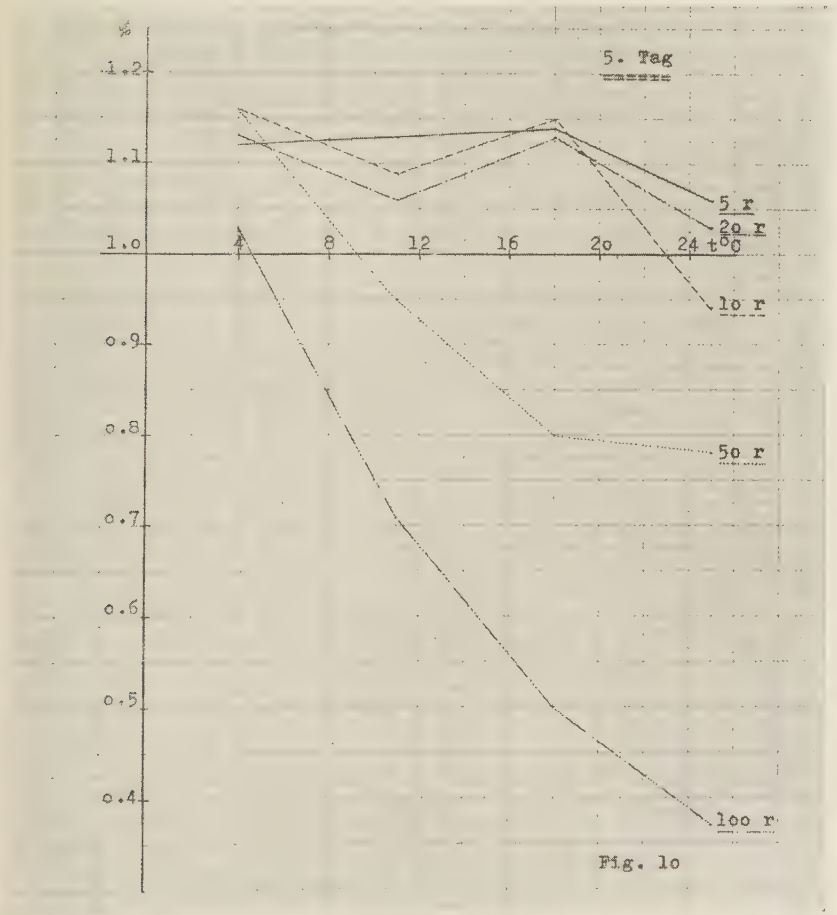


Fig. 10

für 50 r und 100 r aber ein ziemlich starker Abfall. Zwischen 18 ^{0} und 25 ^{0} C ist τ für alle Dosen negativ, am stärksten für 10 r, $\tau = -0{,}03$. Die Kurven von 50 r und 100 r stellen angenähert Exponentialkurven dar.

6. Tag.

Am 6. Tage reagierten, wie aus Fig. 11 hervorgeht, die kleinen Dosen mit einer Reizung. 50 r zeigte hier die stärkste, 116 %. Bei 100 r trat aber bereits eine Wachstumsverminderung auf 93 % ein. Auch bei 11 ^{0} C erfuhren die kleinen Dosen eine Reizung. 50 r und 100 r wurden aber bereits geschädigt, indem eine Wachstums-

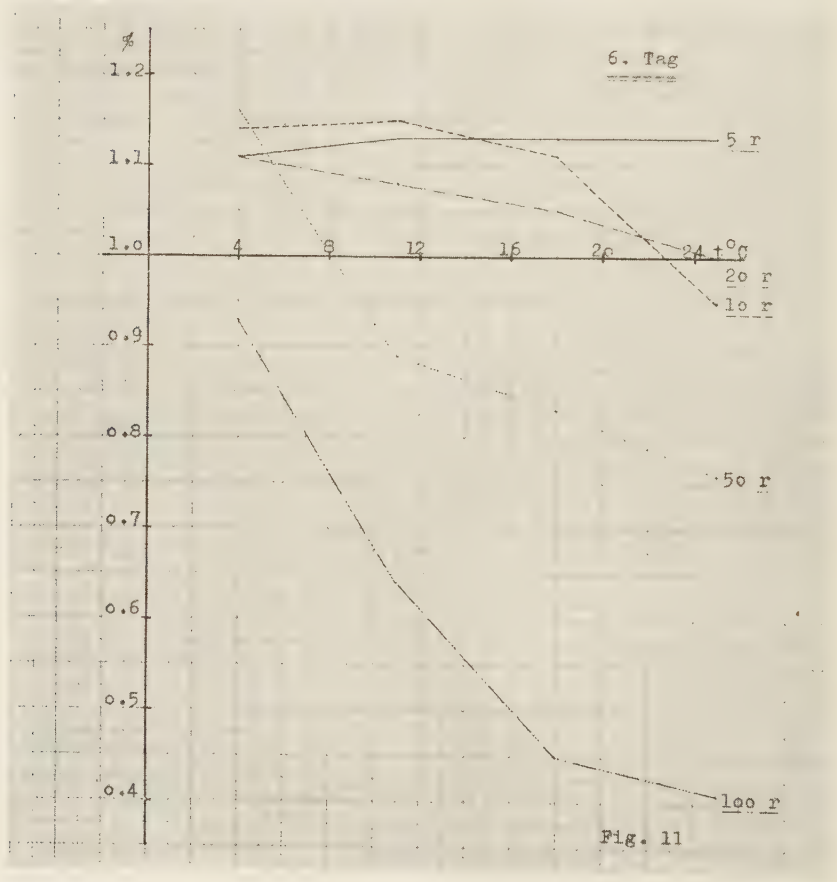


Fig. 11

verminderung auf 89 % bezw. auf 64 % eintrat. Bei 18° C wurden die kleinen Dosen wiederum gereizt, die großen aber geschädigt, nur in erhöhtem Maße als bei 11° C. Für 50 r trat eine Wachstumsverminderung auf 83 % und für 100 r eine solche auf 45 % ein. Bei 25° C erfuhr nur 5 r eine Reizung auf 113 %. 20 r wurde weder gereizt noch geschädigt. Für 10 r trat bereits eine geringe Wachstumsverminderung auf 95 % ein. 50 r und 100 r erlitten eine sehr starke Schädigung, indem eine Wachstumsverminderung auf 76 % bezw. auf 41 % eintrat.

Koeffizient: Für 5 r und 10 r ist zwischen 4° und 11° C ein geringer Anstieg festzustellen. Für 20 r ist der Abfall gering, sehr stark dagegen für 50 r und 100 r, $\tau \sim -0{,}04$. Von 11° auf 18° C ist der Abfall für die Dosen 5 r bis 50 r fast linear mäßig, für 100 r ist er etwas stärker. Zwischen 18° und 25° C ist der Abfall für die Dosen 20 r, 50 r und 100 r gleich stark, $\tau = -0{,}01$. Für 50 r ist er Null, und für 10 r ist $\tau = -0{,}01$. Die Kurve für 100 r ist annähernd eine Exponentialkurve.

7. Tag.

Aus Fig. 12 ist zu ersehen, daß am 7. Tage bei 4° C die kleinen Dosen eine erhebliche Reizung erfuhren, die zwischen 120 % und 124 % betrug. Nur 100 r zeigte eine sehr geringe Wachstumsverminderung auf 98 %. Auch bei 11° C wurden die kleinen Dosen gereizt, doch viel schwächer, 50 r nur noch 101 %. 100 r erlitt eine starke Wachstumsverminderung auf 61 %. Bei 18° C erfuhren die kleinen Dosen 5 r, 10 r und 20 r ebenfalls eine Reizung zwischen 109 % und 115 %. Für 50 r resultierte aber bereits eine Wachstumsverminderung auf 76 % und für 100 r eine solche auf 49 %. Bei 25° C traten einige Besonderheiten auf, indem 10 r schwach geschädigt (96 %), 5 r und 20 r hingegen gereizt wurden. Für 50 r trat eine geringere Wachstumsverminderung ein als bei 18° C, nur auf 82 %. Für 100 r dagegen trat sie sehr stark ein, auf 42 %.

Koeffizient: Zwischen 4° und 11° C ist τ für alle Dosen negativ, am stärksten für 100 r, $\tau = -0{,}05$. Von 11° auf 18° C ist τ für 10 r und 20 r Null, für 5 r positiv, für 50 r und 100 r hingegen negativ, maximal für 50 r, $\tau = -0{,}06$. Zwischen 18° und 25° C besteht für die Dosen 5 r, 20 r und 50 r ein ziemlich linearer

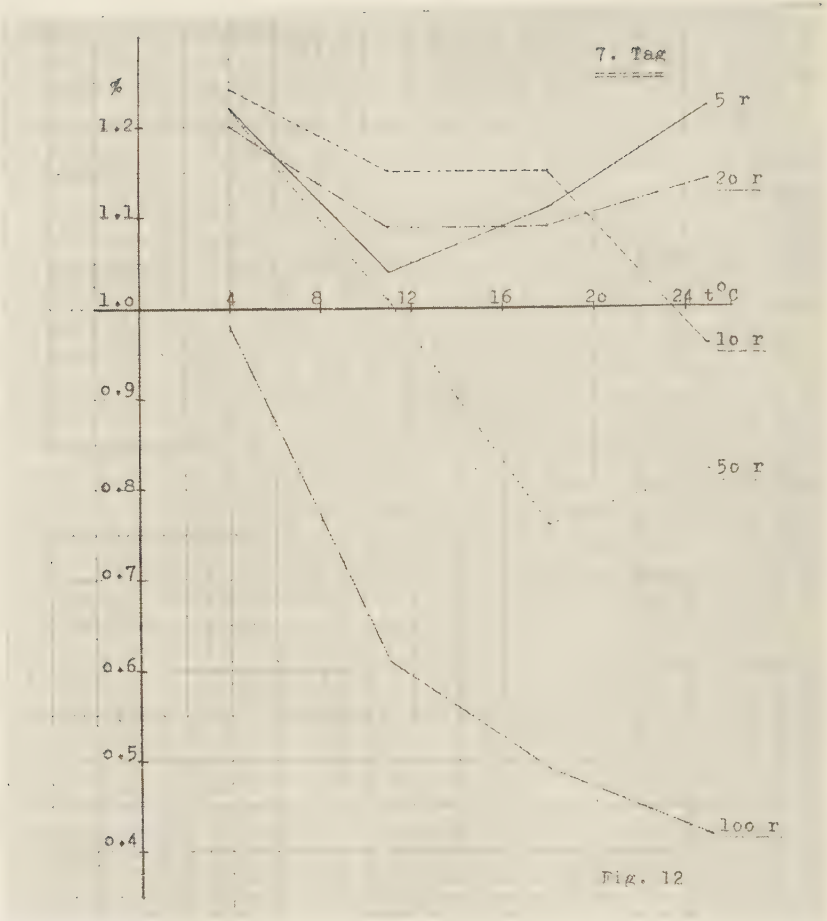


Fig. 12

Anstieg, $\tau = \sim + 0{,}01$. Für 10 r und 100 r ist τ negativ, am stärksten für 10 r, τ — 0,03. Auch hier stellt die Kurve für 100 r angenähert eine Exponentialkurve dar.

Auch aus diesen Abbildungen geht hervor, daß die Keimlinge gegen Ende der Versuchstage sich zu erholen suchten, was ihnen besonders für die kleinen Dosen gelungen ist. Wenn die großen Dosen nicht mit einer Reizung sich erholen konnten, so zeigte sich doch ebenfalls diese Tendenz, indem die Kurven vom 5. Tage an einen flacheren Verlauf nahmen.

V. Fehlerberechnung.

Für jeden Wert, der auf diesen Abbildungen zur Darstellung gelangt ist, wurde der Fehler nach Gauss berechnet:

$$\text{Mittlerer Fehler} = \pm \sqrt{\frac{\Sigma \Delta^2}{n\,(n-1)}}$$

Δ Differenz des Einzelwertes zum Mittelwert, n Anzahl der Versuche = 6.

Um das Bild der Kurven nicht unnötig zu verwischen, sind sämtliche Werte mit den zugehörigen Fehlern in den nachfolgenden Tabellen angeführt.

Tabelle 1.

Versuch bei 4° C (Eisschrank).

	K	5	10	20	50	100 r
1. Tag	5,5 ± 0,28	6,2 ± 0,13	6,0 ± 0,32	5,9 ± 0,33	6,0 ± 0,41	6,2 ± 0,10
2. Tag	4,7 ± 0,25	5,0 ± 0,30	5,1 ± 0,29	4,8 ± 0,33	5,2 ± 0,32	4,6 ± 0,17
3. Tag	12,7 ± 0,38	14,5 ± 0,47	14,2 ± 0,60	13,9 ± 0,81	15,3 ± 0,34	14,8 ± 1,12
4. Tag	13,1 ± 0,55	15,0 ± 0,61	15,0 ± 0,38	14,3 ± 0,74	15,5 ± 0,61	13,5 ± 1,01
5. Tag	12,9 ± 0,53	14,5 ± 0,77	15,0 ± 0,40	14,6 ± 0,66	15,0 ± 0,55	13,3 ± 1,16
6. Tag	13,5 ± 0,48	15,1 ± 0,58	15,4 ± 0,43	15,0 ± 1,09	15,7 ± 0,77	12,6 ± 0,95
7. Tag	11,8 ± 0,60	14,5 ± 0,87	14,6 ± 0,81	14,2 ± 1,11	14,5 ± 0,76	11,6 ± 1,63

Tabelle 2.

Versuch bei 11° C (laufendes Wasser).

	K	5	10	20	50	100 r
1. Tag	8,9 ± 0,47	10,7 ± 0,78	9,7 ± 0,78	9,8 ± 0,99	10,1 ± 1,02	9,2 ± 1,0
2. Tag	9,7 ± 0,47	11,1 ± 0,30	10,5 ± 0,41	10,5 ± 0,20	10,0 ± 0,33	10,4 ± 0,71
3. Tag	14,6 ± 0,55	16,8 ± 0,92	16,3 ± 0,75	16,6 ± 0,26	15,0 ± 0,20	14,3 ± 0,10
4. Tag	14,6 ± 0,41	16,4 ± 0,72	15,6 ± 0,44	16,8 ± 0,46	14.4 ± 0,35	12,7 ± 0,71
5. Tag	14,7 ± 0,55	16,7 ± 0,57	16,1 ± 0,90	15,6 ± 0.63	14,0 ± 0,61	10,4 ± 1,21
6. Tag	14,0 ± 0,63	15,8 ± 0,36	16,1 ± 0,88	15,1 ± 0,52	12,5 ± 0,77	9,0 ± 1,25
7. Tag	13,0 ± 0,67	13,6 ± 0,74	15,3 ± 1,10	14,2 ± 0,46	13,2 ± 0,73	7,9 ± 1,23

Tabelle 3.

Versuch bei 18° C (gewöhnliche Zimmertemperatur).

	K	5	10	20	50	100 r
1. Tag	13,9 ± 1,28	14,4 ± 0,74	13,3 ± 0,65	14,1 ± 0,96	13,1 ± 1,25	13,8 ± 1,30
2. Tag	16,4 ± 1,17	15,7 ± 0,48	14,8 ± 0,58	14,7 ± 0,39	13,4 ± 0,60	13,0 ± 0,22
3. Tag	16,4 ± 1,33	15,5 ± 0,86	15,1 ± 0,72	15,2 ± 0,33	12,6 ± 0,51	11,2 ± 0,26
4. Tag	16,4 ± 1,22	16,0 ± 0,95	15,6 ± 0,97	15,2 ± 0,53	11,9 ± 0,20	8,8 ± 0,24
5. Tag	14,0 ± 1,14	16,0 ± 1,00	16,2 ± 0,99	15,9 ± 0,53	11,2 ± 0,45	7,0 ± 0,26
6. Tag	14,0 ± 0,51	14,8 ± 0,63	15,6 ± 0,62	14,7 ± 0,93	11,6 ± 0,63	6,3 ± 0,46
7. Tag	11,9 ± 0,55	13,3 ± 1,00	13,7 ± 0,65	13,0 ± 1,04	9,0 ± 0,57	5,8 ± 0,72

Tabelle 4.

Versuch bei 25 ^{0} C (Brutschrank).

	K	5	10	20	50	100 r
1. Tag	29,7 ± 1,55	26,5 ± 2,48	26,1 ± 2,48	26,2 ± 2,28	24,4 ± 2,64	24,7 ± 2,23
2. Tag	22,0 ± 1,53	20,8 ± 2,38	11,4 ± 5,00	21,1 ± 1,90	14,1 ± 1,73	14,2 ± 0,73
3. Tag	10,6 ± 0,77	10,1 ± 1,05	8,6 ± 0,72	7,5 ± 1,35	7,1 ± 0,77	4,5 ± 0,62
4. Tag	8,1 ± 0,53	7,4 ± 0,85	6,3 ± 0,67	6,9 ± 0,95	6,2 ± 0,71	3,1 ± 0,24
5. Tag	6,5 ± 0,76	6,9 ± 0,79	6,1 ± 0,86	6,7 ± 1,14	5,1 ± 0,64	2,4 ± 0,35
6. Tag	5,8 ± 0,84	6,6 ± 0,81	5,5 ± 0,69	5,8 ± 0,93	4,4 ± 0,54	2,4 ± 0,26
7. Tag	5,0 ± 0,65	6,1 ± 0,41	4,7 ± 0,71	7,5 ± 0,96	4,1 ± 0,88	2,1 ± 0,20

VI. Zusammenfassung.

Die Versuche wurden ausgeführt, um den Einfluß feststellen zu können, den die Temperatur auf Bohnenkeimlinge auszuüben vermag, die mit bestimmten Dosen Röntgenstrahlen vorbehandelt worden sind. Versuche wurden unter gleichen Bedingungen bei 4^0, 11^0, 18^0 und 25^0 C durchgeführt. Die Dosen betrugen 5 r, 10 r, 20 r, 50 r und 100 r. Die Versuche zeigen eindeutig folgendes Ergebnis:

1. Bei tiefen Temperaturen (4^0 C, 11^0 C) wirkt die Strahlung im Sinne einer Wachstumsreizung, bei hohen Temperaturen (18^0 C, 25^0 C) im Sinne einer Wachstumsverminderung. Die Stärke dieser Reizung bezw. Schädigung ist (mit kleinen Abweichungen) von der Dosis abhängig. Die absolute tägliche Längenzunahme ist in den beiden ersten Tagen stark abhängig von der Temperatur in dem Sinne, daß mit steigender Temperatur das Wachstum zunimmt. Vom 3. bis 7. Tage ist diese Temperaturabhängigkeit nicht mehr so ausgesprochen; bei hohen Temperaturen (25^0 C) tritt jedoch eine starke Wachstumsverminderung ein. Diese resultiert daraus, weil bei großer Wachstumsgeschwindigkeit viele Zellen sich im Teilungsstadium befinden (Mitose) und deshalb besonders strahlenempfindlich sind. Bei tieferen Temperaturen sind weniger Zellen in diesem Mitosestadium; infolgedessen tritt eine geringere Schädigung durch die Strahlung ein. Die Reizung läßt sich daraus aber nicht erklären.

2. Der Temperaturkoeffizient der Strahlenwirkung auf die VICIA FABA EQUINA zeigt einen stetigen Verlauf, wobei der absolute Wert für tiefere Temperaturen zunächst positiv ist, bei höheren Temperaturen aber in einen stärker negativen Wert übergeht.

3. Für die Bildung von Seitenwurzeln wirken tiefe Temperaturen stark hemmend, hohe Temperaturen stark fördernd. Hingegen wirkt die Strahlung auf die Seitenwurzeln relativ schädigend, und zwar umsomehr, je höher die Dosis. Am schwächsten ist die Wachstumsverminderung der Seitenwurzeln bei 18^0 C.

LITERATUR

1. Arnold J.:
   Diss. Bern 1940 (Manuskript).
2. Backes H.:
   Diss. Bern 1940
3. Dessauer F. (B. Rajewsky):
   Zehn Jahre Forschung auf dem physikalisch-medizinischen Grenzgebiet. Leipzig 1931.
4. Doelken K.:
   Diss. Bern 1940
5. Herren P.:
   Diss. Bern 1940
6. Holthusen H. und R. Braun:
   Grundlagen der Röntgenstrahlendosierung. Leipzig 1933.
7. Iven H.:
   Strahlentherapie 19, 1925, 413.
8. Rösli V.:
   Diss. Bern 1941 (Manuskript).
9. Salzmann A.:
   Diss. Bern 1942.
10. Timoféeff-Ressovsky N. W. und K. G. Zimmer:
    Biologisches Zentralblatt Bd. 59, Heft 7/8, 1939, 358.